

место в калибре I, в 2 раза меньше она в калибре III, и в 3 раза - в калибре II. Кривая III (весьма близкая к прямой линии) пересекается с кривыми II и I в точках C и D. Значения углов, соответствующих этим точкам, можно найти из условия равенства в них коэффициентов  $k$ . Точке C соответствует угол  $\alpha = 45^\circ$  при любых геометрических параметрах валков и полосы. Точка D находится в диапазоне углов от  $20,3^\circ$  до  $25,4^\circ$ .

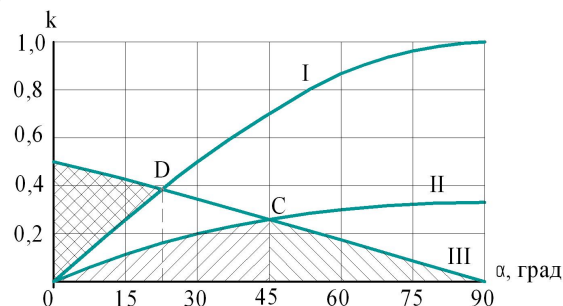


Рис. 1. Зависимость коэффициента  $k$  от угла подгибки полки элементами:  
I – коническим приводным; II – коническим свободно вращающимся;  
III – коническим роликом.

Это означает, что при подгибке полки от  $0^\circ$  до указанного диапазона углов скольжение на приводном коническом элементе меньше, чем на коническом ролике, а при подгибке от  $0^\circ$  до  $45^\circ$  на свободно вращающемся коническом элементе оно меньше, чем на коническом ролике. А при углах от  $45^\circ$  до  $90^\circ$  скольжение на коническом ролике меньше.

Таким образом, из рассмотренных вариантов конструкций неприводного инструмента наиболее эффективным является цилиндрический ролик, так как скольжение на нем практически отсутствует.

**4. Выводы:** Впервые получены данные о величине и распределении скоростей при формовке полосы неприводным инструментом различной конструкции. Они могут быть использованы при дальнейшем развитии теории формовки, в частности, для определения мощности процесса, а также при проектировании технологии и оборудования для изготовления профилей.

**Список литературы:** 1. Тришевский И. С. Теоретические основы процесса профилирования / И. С. Тришевский, М. Е. Докторов – М.: Металлургия, 1980. – 287 с. 2. Ахлестин А. В. О путях повышения качества тонкостенных гнутых профилей с покрытием / А. В. Ахлестин // Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і в машинобудуванні. - Тематич. зб. наук. пр.- Краматорськ: ДДМА, 2004. – С. 614-619. 3. Бороденко В. Н. Экспериментальные исследования влияния технологических и геометрических параметров на усилие профилирования / В. Н. Бороденко, В. М. Королик, В. Ф. Гарбуз // Гнутые профили проката. Отрасл. сб. научн. тр. Вып. IV. – Харьков: УкрНИИМет, 1976. – С.33-37.

УДК 621.771.06–11К:621.771.25

**ЖУЧКОВ С.М.**, докт. техн. наук, проф., ИЧМ НАН Украины, г. Днепропетровск

**ТОКМАКОВ П.В.**, м.н.с., ИЧМ НАН Украины, г. Днепропетровск

**ЛЕЩЕНКО А.И.**, аспирант, ИЧМ НАН Украины, г. Днепропетровск

## **ПРИМЕНЕНИЕ ТРЕХОЧАГОВЫХ ПРОКАТНЫХ МОДУЛЕЙ – ПЕРСПЕКТИВНОЕ РЕШЕНИЕ В РАЗВИТИИ ПРОЦЕССА НЕПРЕРЫВНОЙ СОРТОВОЙ ПРОКАТКИ**

В статье рассмотрено современное состояние и перспективы развития процесса непрерывной сортовой прокатки с использованием неприводных прокатных клетей в линиях непрерывных станов.

Ключевые слова: непрерывная сортовая прокатка, резерв сил трения, приводная клеть, неприводная клеть, трехочаговый прокатный модуль.

У статті розглянуто сучасний стан та перспективи розвитку процесу безперервної сортової прокатки з використанням непривідних прокатних клітей в лініях безперервних станів.

Ключові слова: безперервна сортова прокатка, резерв сил тертя, привідна кліть, непривідна кліть, триосередковий прокатний модуль.

In clause the modern condition and prospects of development of process continuous rolling with use no driving rolling mills in lines continuous mills is considered.

Key words: continuous section rolling, reserve of forces of friction, driving rolling mill, no driving rolling mill, three of rolling module.

Одним из основных направлений развития технологии производства сортового проката и катанки является разработка новых эффективных процессов прокатки и технологического оборудования для их реализации, обеспечивающих, наряду с высокими качеством готового проката и производительностью станов, экономию энергоресурсов, высокую гибкость процесса при производстве проката широкого размерного и марочного сортамента, сокращение эксплуатационных затрат и расходов на реконструкцию существующих и строительство новых станов.

В настоящее время в мировой практике применяются непрерывные сортовые и проволочные станы, особенностью которых является неполное использование резерва втягивающих сил трения в очагах деформации приводных клетей (ПК). Это связано с тем, что часть энергии, подаваемой от двигателя к валкам в зоне отстаивания, используется на деформацию металла, а другая часть расходуется на преодоление сил трения, препятствующих процессу прокатки в зоне опережения. Следствием этого является увеличение количества клетей, массы оборудования и площади, занимаемой станом.

Современный рынок сортового проката и катанки в мире достаточно насыщен. Это обостряет конкуренцию на рынке проката. Установленные мощности прокатных станов превышают потребности рынка в прокате. Поэтому возможности станов, зачастую, используются не полностью. Для повышения конкурентоспособности прокатной продукции необходима реализация новых технологий, которые при высоком качестве готового проката обеспечивают снижение затрат на его производство и, соответственно, его себестоимости.

Неприводные прокатные клетки (НК) и другие устройства с неприводным инструментом применяются в различных процессах обработки металлов давлением. При этом конструкция неприводных прокатных клетей и устройств, а также их количество и место установки определяются конкретными задачами [1].

В практике сортопрокатного производства широко используется технология сдвоенной и строенной прокатки арматурной стали с продольным разделением рас-

ката в линии стана, с применением делительных устройств, имеющих неприводные ролики, устанавливаемых в выводных коробках приводных прокатных клетей [2]. Продольное разделение раската осуществляется за счет расклинивающего действия неприводных делительных роликов. Подача раската в делительное устройство и перемещение в нем в процессе продольного разделения осуществляется за счет частичного использования резерва стягивающих сил трения приводной прокатной клетки, на выходной стороне которой установлено делительное устройство.

В трубопрокатном производстве при прокатке труб на непрерывных станах безоправочного редуцирования используются чередующиеся приводные и неприводные прокатные клетки [3]. Здесь для предотвращения исчерпания резерва сил трения в очагах деформации ПК поддерживают различные условия трения на контакте металла с валками в приводных и неприводных клетях. Повышенный коэффициент трения на контакте металла с валками приводных прокатных клетей по отношению к коэффициенту трения в НК предотвращает проскальзывание металла в валках ПК и снижает межклетьевые усилия в стане.

Неприводные прокатные клетки применяют также при горячем калибровании сортового проката. Известны технологические процессы, основанные на использовании резерва стягивающих сил трения, образующегося в очагах деформации ПК для подачи прутка в волоку волочильного стана цепного типа и извлечения заднего конца проволоки из волоки после волочения с помощью калиброванных валков прокатных клетей, установленных перед или за волокой. Получили распространение процессы волочения в неприводных роликах, в том числе клетки–волоки с многовалковыми калибрами [4].

При разработке теоретических и технологических основ процессов прокатки с использованием резерва стягивающих сил трения в очагах деформации приводных прокатных клетей, в отделе физико–технических проблем процессов прокатки сортового и специального проката Института черной металлургии НАН Украины выполнен большой объем теоретических и экспериментальных исследований процесса непрерывной прокатки с использованием неприводных клетей, обобщенный в монографии [5]. На основании теоретических и экспериментальных исследований установлены основные преимущества применения неприводных прокатных клетей в линиях непрерывных станов, показана эффективность их использования при непрерывной сортовой прокатке, даны предложения по реконструкции действующих станов с использованием неприводного деформирующего инструмента.

Результаты фундаментальных исследований процессов сортовой прокатки, основанных на более полном использовании резерва стягивающих сил трения, нашли практическое применение на мелкосортно-проволочном стане 250/150-6 ОАО «АрселорМиттал Кривой Рог». Здесь освоена технология прокатки с использованием дополнительного деформирующего средства оригинальной конструкции – бесстанинной неприводной рабочей клетки вертикального исполнения с консольным расположением рабочих валков [6–8]. Неприводная клеть установлена в межклетьевом промежутке между клетями №6 и №7 черновой группы стана 250/150-6 (рис.1).

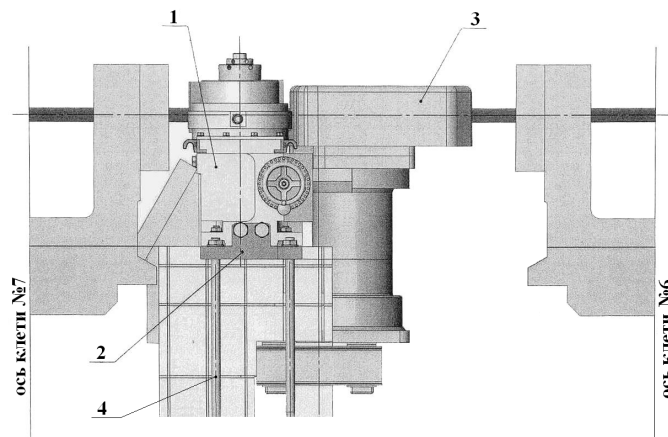


Рисунок 1 - Схема установки НК в межклетьевом промежутке вертикальной клетки №6 и горизонтальной №7 черновой группы стана 250/150-6:

1- не приводная клетя; 2- плитовина; 3- модернизированный передаточный желоб; 4- фундамент не приводной рабочей клетки

Применение этой технологии позволило решить две задачи: разгрузить черновую группу и повысить вытяжную способность стана в целом. Это создало предпосылки к расширению сортамента стана в сторону более мелких профиларазмеров готового проката без существенных капитальных затрат. Дополнительный результат, достигнутый в результате освоения этой технологии прокатки – снижение простоев стана на 2,5-3 %, уменьшение «бурежек», снижение износа валков клеток черновой группы стана, уменьшение энергозатрат при прокатке. Установлено, что использование опытно–промышленного образца не приводной клетки только в одном межклетьевом промежутке (между клетями №6 и №7) обеспечило экономию электроэнергии порядка 1,8 млн. кВтч в год, что в ценах на 01.08.2008г. составляет 716,4 тыс.грн.

Анализ результатов эксплуатации сортовых, непрерывно–заготовочных и трубных станов, оснащенных не приводными деформирующими устройствами, показал перспективность этого пути развития технологии, основанной на более полном использовании резерва втягивающих сил трения в очагах деформации приводных прокатных клеток путем установки не приводных деформирующих устройств в линиях непрерывных станов.

Дальнейшим развитием применения не приводных клеток для повышения эффективности процесса прокатки на непрерывных сортовых и проволочных станах является использование трехочаговых прокатных модулей (ТОМП), представляющих собой два комплекта приводных валков с общим приводом и расположенный между ними комплект не приводных валков горизонтального или вертикального исполнения [9]. Выполнена оценка технологических возможностей ТОМП в процессе непрерывной сортовой прокатки. Изучены особенности распределения усилий в очагах деформации ТОМП в процессе прокатки, разработана методика определения продольных усилий между клетями модуля с общим приводом [10]. Определены исходные данные для проектирования трехочаговых прокатных модулей, предназначенных для использования в процессе непрерывной сортовой прокатки.

Использование ТОМП возможно и при реконструкции непрерывных станов, если длина межклетьевых промежутков стана позволяет разместить ТОМП. Однако эта схема компоновки потребует реконструкции существующих линий привода рабочих клеток стана для обеспечения привода рабочих клеток ТОМП. Учитывая то, что в настоящее время в линиях современных сортовых и проволочных станов все более широкое распространение получает групповой привод клеток, например, в

конструкциях блоков чистовых и промежуточных клетей проволочных станов, по нашему мнению, разработка конструкции ТОМП с групповым приводом его приводных рабочих клетей, образующих первый и третий очаги деформации, представляет определенный интерес (рис.2).

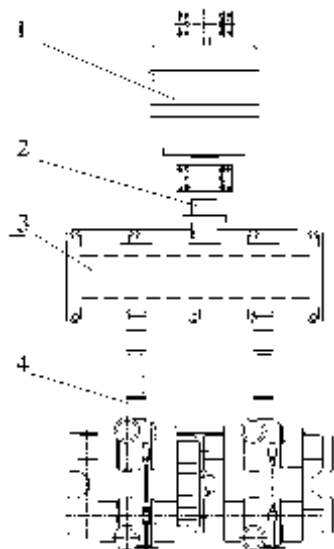


Рисунок 2 - Схема привода трехочагового прокатного модуля для условий промежуточной и чистовой групп сортовых станов со станинными приводными валками: 1 – электродвигатель; 2 – зубчатая муфта; 3 – шестеренная клетя; 4 – шпиндели

изменении программы прокатки (размерного и марочного сортамента прокатываемых профилей).

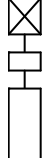
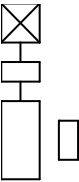
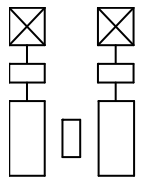
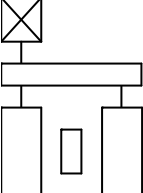
Дооснащение непрерывных сортовых станов достаточным количеством комплектов трехочаговых прокатных модулей, которые могут использоваться как основные средства деформации металла или как вспомогательные, выполняющие функции контроля размеров раската при прокатке сортовых профилей на непрерывных станах с широкой программой прокатки и различным сортаментом, позволит повысить эффективность производства проката.

Высокая вытяжная способность модуля обеспечивает сокращение количества клетей и уменьшение общей мощности приводов по сравнению со станами традиционной компоновки. В промежуточных группах современных проволочных и мелкосортных станов суммарная вытяжка в двух приводных клетях составляет приблизительно 1,6-1,7, а при установке трехочагового прокатного модуля возможно достижение вытяжки до 2,2, при этом сокращается количество клетей стана (табл. 1).

Таблица 1

Схемы процессов прокатки с использованием резерва втягивающих сил трения

	Вариант компоновки клетей	Габариты, мм *	Масса клетей	Суммарный коэфф. вытяжки $\Sigma\mu$	Количество приводов	Работа в автономном режиме
--	---------------------------	----------------	--------------	--------------------------------------	---------------------	----------------------------

Приводная клеть		1400	1	$\leq 1,4$	1	да
Комплекс приводная-неприводная клетки		2100	1,05 - 1,10	$\leq 1,7$	1	нет
Комплекс приводная клеть - неприводная клеть - приводная клеть		4550	2,05 - 2,10	$\leq 2,35$	2	да
Трехочаговый прокатный модуль		3200	2,05 - 2,10	$\leq 2,2$	1	да

Примечание \* Габаритные размеры клеток принималась исходя из размеров стана 250/150-6 ОАО «АрселорМиттал Кривой Рог».

Компоновка технологического оборудования ТОМП позволит более полно использовать резерв сил трения, образующийся при прокатке в очагах деформации смежных приводных клеток, уменьшить расход энергии, повысить КПД процесса прокатки, а также снизить металлоемкость стана без снижения (или повышения) его вытяжной способности. Упрощается обслуживание стана, так как при общем приводе приводных клеток происходит саморегулирование межклетевых усилий в промежутке "первые приводные – неприводные валки" и "неприводные – вторые приводные валки", т.е. межклетевые усилия устанавливаются такими, какие необходимы для осуществления деформации металла в НК. В результате снижается вероятность аварийных ситуаций, вызванных действиями обслуживающего персонала, уменьшаются эксплуатационные расходы, и повышается стабильность процесса прокатки [11].

Использование этих разработок уже сегодня дает возможность:

- снизить энергозатраты на 15-20 % за счет уменьшения расхода энергии на собственно процесс деформации и за счет уменьшения потерь энергии в линиях привода рабочих клеток;
- повысить технологическую гибкость стана: при необходимости либо увеличить его вытяжную способность, либо увеличить дробность деформации;
- сократить габариты технологических линий станов, площади для их размещения, а, следовательно, и уменьшить капитальные затраты на строительство новых и реконструкцию действующих станов;
- появляется возможность перевода реконструируемых станов на увеличенное сечение заготовки (например, при переходе на непрерывнолитую заготовку)

без увеличения габаритов и количества приводных рабочих клеток при минимальных финансовых затратах.

## ВЫВОДЫ

Процессы прокатки, основанные на использовании резерва втягивающих сил трения, могут применяться для решения различных технологических задач, возникающих при производстве проката: повышения производительности станов, снижения энергопотребления при прокатке, увеличения выхода годного, сокращения эксплуатационных расходов и т.д. Эффективность использования этих процессов при производстве сортового и фасонного проката подтверждена их практической реализацией.

Процесс непрерывной сортовой прокатки с использованием трехочаговых прокатных модулей, разработанный в Институте черной металлургии НАН Украины, и являющийся логическим развитием процессов прокатки с применением неприводных рабочих клеток, относится к новым эффективным процессам прокатки. Его применение позволит повысить производительность станов, обеспечит экономию энергоресурсов, гибкость процесса при производстве проката широкого размерного сортамента, сократить эксплуатационные затраты и затраты на реконструкцию существующих и строительство новых станов.

**Список литературы:** 1. Жучков С.М. Эффективность использования современных технологических концепций при реконструкции непрерывных сортовых станов // Металлург. – 1998. – № 1. – С. 29-32. 2. Процесс прокатки-разделения с использованием неприводных делительных устройств / С.М. Жучков, А.П. Лохматов, Н.В. Андрианов, В.А. Маточкин. - М.: «Издательство «Пан пресс», 2007. – 360 с. 3. Лохматов А.П., Жучков С.М., Кулаков Л.В. Концепция развития технологии и оборудования непрерывных сортовых прокатных станов // Сталь. – 1995. – № 5. – С. 51-53. 4. Исследование процесса получения высокоточных профилей методом волочения в роликовых волоках / С.М. Жучков, А.П. Лохматов, К.Ю. Ключников и др. // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2005. – С. 26-27. 5. Непрерывная прокатка сортовой стали с использованием неприводных рабочих клеток / А.П. Лохматов, С.М. Жучков, Л.В. Кулаков и др. - К.: Наук. думка, 1998. – 239с. 6. Исследование и разработка технологии непрерывной прокатки с использованием неприводной рабочей клетки в черновой группе мелкосортно-проволочного стана / С.М. Жучков, А.П. Лохматов, П.В. Токмаков, А.И. Лещенко // «Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии». Сборник научных трудов ИЧМ НАН Украины, вып. 12. - Днепропетровск, 2006. – С. 198-203. 7. Деклараци́нный патент на корисну модель «Ділянка робочих клітей безперервного стану» № 13907, Україна МКВ<sup>7</sup> B21B13/00 / Токмаков П.В., Сокуренок А.В., Шеремет В.О. и др. Заявка № u 2005 10718 от 14.11.2005 Приоритет от 14.11.2005 Опубліковано 17.04.2006 Бюл.№ 4, 2006 - С. 5. 8. Токмаков П.В., Жучков С.М., Лохматов А.П. Использование неприводных рабочих клеток на мелкосортных и проволочных станах ОАО «МитталСтил Кривой Рог» // Металлургические процессы и оборудование - 2007. - №1. - С. 42-45. 9. Жучков С.М., Кулаков Л.В., Токмаков П.В. Разработка технологического комплекса для производства малотоннажных партий проката // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2004. - №4. – С. 26-27. 10. Пределы осуществимости процесса сортовой прокатки в трехочаговом прокатном модуле / С.М. Жучков, А.А. Горбанев, П.В. Токмаков и др. // «Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии». Сборник научных трудов ИЧМ НАН Украины, вып. 9. - Днепропетровск, 2004. – С. 107-118. 11. Применение трехочагового прокатного модуля при производстве сортового проката / С.М. Жучков, П.В. Токмаков, А.А. Горбанев и др. // «Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии». Сборник научных трудов ИЧМ НАН Украины, вып. 18. - Днепропетровск, 2008. – С. 155-163.